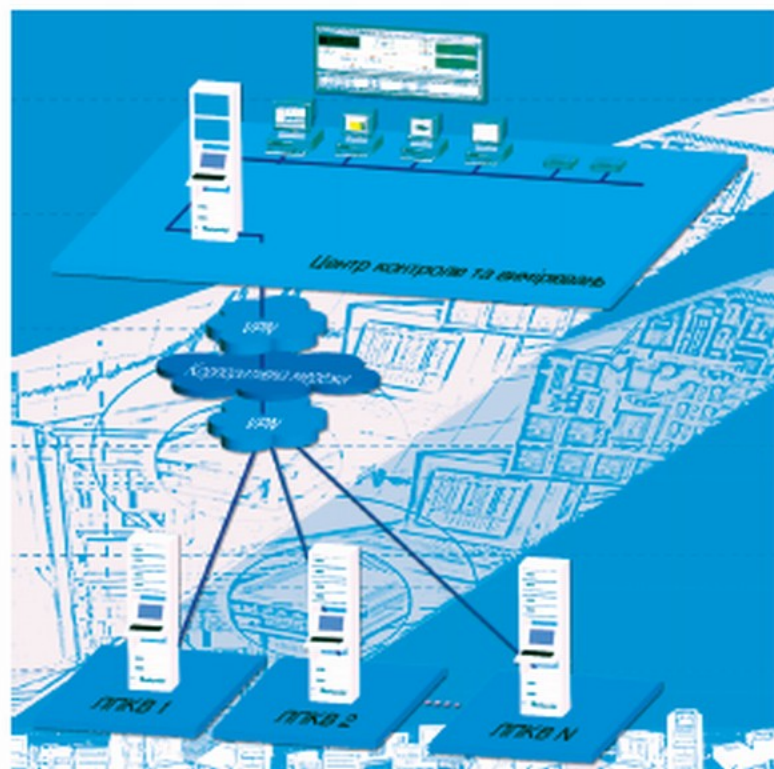


МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА
ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ
В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2009

УДК 681.51
М 54

Автори:

Р. Н. Кветний, В. Г. Лисогор, В. П. Посвятенко, Ю. А. Скидан

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 24.05.2007 р.)

Рецензенти:

В. С. Осадчук, доктор технічних наук, професор

В. М. Лисогор, доктор технічних наук, професор

М 54 **Моделювання** та оцінка параметрів якості зв'язку в телекомунікаційних мережах / За заг. ред. Р. Н. Кветного. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 132 с.

ISBN 978-966-641-326-3

В монографії розглядається проблема оцінки параметрів якості зв'язку в телекомунікаційних системах та розроблена методологія комплексної оцінки якості зв'язку в телекомунікаційних мережах загального призначення.

Книга розрахована на вчених в галузі телекомунікацій, аспірантів, студентів і фахівців різного рівня підготовки.

УДК 681.51

ISBN 978-966-641-326-3

© Р. Кветний, В. Лисогор, В. Посвятенко,
Ю. Скидан, 2009

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....	7
1.1. Огляд пріоритетних напрямків розвитку телекомунікаційних мереж.....	7
1.2. Оцінка якості обслуговування в системах рухомого зв'язку	10
1.3. Математичні моделі якості цифрових телекомунікаційних мереж.....	14
1.3.1. Математична модель якості телекомунікаційної мережі.....	16
1.4. Методи оцінки основних параметрів функціонування мереж зв'язку.....	19
1.4.1. Метод аналізу розподілу ймовірностей станів телекомунікаційного обладнання.....	19
1.4.2. Розрахунок параметрів функціонування телекомунікаційних мереж.....	26
1.4.3. Методи аналізу функціонування мереж.....	28
1.5. Обґрунтування напрямку досліджень.....	32
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....	34
2.1. Підхід до побудови математичних моделей комплексних показників якості функціонування телекомунікаційних мереж.....	34
2.2. Обґрунтування вибору основних параметрів функціонування мереж.....	35
2.3. Підхід до побудови математичних моделей часткових показників якості функціонування телекомунікаційних мереж.....	39
2.4. Математична модель телекомунікаційної мережі в умовах великого навантаження.....	40
2.5. Математична модель телекомунікаційної мережі в умовах великої затримки сигналів.....	53
2.6. Математична модель телекомунікаційної мережі в умовах необмеженої кількості абонентів.....	64
2.7. Висновки.....	75
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....	77
3.1. Математичні моделі основних окремих показників якості.....	77
3.1.1. Математична модель в умовах великого навантаження.....	77
3.1.2. Математична модель в умовах великої затримки сигналів.....	80
3.1.3. Математична модель в умовах необмеженої кількості абонентів.....	83

3.2. Модифікований метод інтерполяції у тривимірному просторі.....	87
3.3. Інтерполяція за методом Лагранжа функцій N+1 змінних	90
3.4. Математична модель якості функціонування телекомунікаційної мережі	94
3.5. Висновки	96
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1. Архітектура програмного забезпечення	97
4.2. Структура програмного забезпечення	98
4.3. Розробка інтерфейсу системи моделювання	99
4.4. Розробка структури реалізації системи моделювання	100
4.5. Структура бази даних	102
4.6. Інтерфейс програмного забезпечення	103
4.7. Методики розрахунку основних параметрів функціонування телекомунікаційних мереж.....	107
4.7.1. Узагальнена методика визначення параметрів функціонування телекомунікаційних мереж.....	107
4.7.2. Методика визначення параметрів функціонування телекомунікаційних мереж в умовах великого навантаження.....	108
4.7.3. Методика визначення параметрів функціонування телекомунікаційних мереж в умовах великої затримки сигналів.....	110
4.7.4. Методика визначення параметрів функціонування телекомунікаційних мереж в умовах необмеженої кількості абонентів.....	112
4.8. Алгоритми розрахунку основних параметрів функціонування телекомунікаційних мереж.....	114
ЛІТЕРАТУРА	122

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС	– абонентська станція
АСТС	– аналізатор сигналізацій телекомунікаційних систем
БД	– база даних
БС	– базова станція
ДПВ	– джерело повторних викликів
ЗнСО	– значуща сигнальна одиниця
КНД	– керівний нормативний документ
ЛПМ	– локальний пункт моніторингу
МПД	– мережа передачі даних
ОС	– операційна система
ПЗ	– програмне забезпечення
СМ	– система моніторингу
СУБД	– система управління базами даних
ТфЗК	– телефонна мережа загального користування
ЦК	– центр контролю
3G	– Third Generation (третє покоління мереж зв'язку). Характеризуються високими швидкостями передавання даних)
АСМ	– Address complete message (повідомлення повної адреси)
АНМ	– Answer message (повідомлення «Відповідь»)
CDMA	– Code Division Multiple Access (мультидоступ з кодовим розділенням каналів)
GUI	– Graphic User Interface (графічний інтерфейс користувача)
IAM	– Initial address message (початкове, ініціююче адресне повідомлення)
ITU-T	– International Telecommunication Union (Міжнародний союз електров'язківців)
QoS	– Quality Of Service (якість обслуговування)
SLA	– Service Level Agreement (угода про рівень обслуговування)
UMTS	– Universal Mobile Telecommunications Systems (універсальна мобільна телекомунікаційна система)
UTRAN	– Universal Terrestrial Radio Access Network (універсальна наземна мережа радіо-доступу)

ВСТУП

Бурхливий розвиток телекомунікаційних технологій викликав появу нових послуг, що можуть бути надані користувачам і, відповідно, загострив процес конкурентної боротьби між операторами зв'язку. Останнім часом з'явилась велика кількість операторів зв'язку і вони можуть надавати різні послуги своїм абонентам. Якщо абонент хоче отримати певну послугу він має можливість обирати одну з ряду телекомунікаційних компаній. Перелік послуг, що надаються телекомунікаційними компаніями, в принципі, однаковий, однаковими також є і тарифи на надання цих послуг. Тому в цій ситуації на перше місце перед абонентом виходять питання щодо якості надання послуги. Саме тому сьогодні для операторів зв'язку на перше місце виходять поняття "якості зв'язку", "забезпечення відповідної якості", "підвищення якості надання послуг".

На сьогодні рекомендації міжнародної спілки зв'язківців ІТУ-Т, що регламентують параметри, характеристики, показники та вимоги до якості послуг, що надаються, не враховують усіх можливих режимів функціонування телекомунікаційних мереж, а саме режимів великого навантаження, великої затримки сигналів тощо. При цьому виникає ситуація, коли оператор зв'язку не може адекватно оцінити якість послуг, що надаються кінцевому споживачу, та приймати відповідні рішення щодо розвитку мережі зв'язку. Використання існуючих моделей та методик оцінки якості дозволяють оцінити лише часткові параметри якості, а механізму для комплексної оцінки якості наданих послуг, якості функціонування телекомунікаційних мереж ще не існує.

В монографії представлено результати досліджень в напрямку розробки методології комплексної оцінки якості зв'язку в телекомунікаційних мережах загального призначення, що базується на роботах, які проводились протягом останніх років науковцями кафедри автоматики та інформаційно-виміральної техніки Вінницького національного технічного університету та співробітниками ТОВ "ІВП Інновінн" під керівництвом Р. Н. Кветного, В. Г. Лисогора та Ю. А. Скидана. Головним виконавцем цих досліджень був В. П. Посвятенко, що знайшло втілення в підготовлену ним кандидатську дисертацію.

Мета досліджень полягає в підвищенні ефективності проектування телекомунікаційних мереж множинного доступу на основі нового підходу до побудови їх математичних моделей, що дає можливість врахувати вклад основних параметрів мереж в комплексні показники якості функціонування та прогнозувати їх працездатність в умовах перевантаження та великої затримки повідомлень.

РОЗДІЛ 1.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

У цьому розділі розглядається загальна характеристика процесу дослідження телекомунікаційних мереж. Наводиться короткий огляд робіт з аналізу параметрів функціонування телекомунікаційних мереж. Аналізуються причини, які обумовлюють актуальність моделювання параметрів функціонування телекомунікаційних мереж в "критичних" умовах. Розглянуто базові моделі параметрів функціонування телекомунікаційних мереж та наведено класифікацію основних показників якості функціонування. Окреслено основні групи показників якості функціонування телекомунікаційних мереж. Розглянуто класичну модель якості наданих послуг в телекомунікаційних мережах. Наведено метод оцінки ймовірнісно-часових характеристик функціонування телекомунікаційної мережі для випадку обмеженої кількості абонентів. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що найбільш ефективним методом визначення характеристик функціонування мережі є аналіз сигнальної інформації. В результаті чого було обґрунтовано напрямки та задачі подальших досліджень.

1.1. Огляд пріоритетних напрямків розвитку телекомунікаційних мереж

Останнім часом спостерігається бурхливий прогрес нових телекомунікаційних технологій. Широкий розвиток набули мережі стільникового зв'язку, виникли потужні компанії-оператори зв'язку, які відіграли значну роль у формуванні вітчизняного телекомунікаційного ринку.

Одним з найбільш вагомих досягнень останнього десятиріччя було створення концепції та технології зв'язку третього покоління. Цей проєкт знаменував собою інтеграцію інформаційних та телекомунікаційних мереж зв'язку третього покоління, мереж фіксованого та мобільного зв'язку. Основним завданням цих процесів є створення нового інфокомунікаційного середовища та нового рівня послуг, що є великим кроком наближення до глобального інформаційного простору.

Основними передумовами створення мереж зв'язку третього покоління є такі:

- розвиток процесу інтеграції інформаційних та телекомунікаційних технологій, створення на цій базі єдиного нового інфокомунікаційного середовища;

- інтеграція України в світовий телекомунікаційний простір та створення єдиного сервісного простору, що передбачає загальний механізм доступу до послуг зв'язку незалежно від конкретних мереж;
- перехід конкуренції між операторами стільникових мереж в область надання послуг.

Саме в цих умовах формування глобального інформаційного простору мережі рухомого зв'язку набувають статусу національних мереж та інтегруються в телекомунікаційний ринок.

Постійно зростаючі вимоги до якості послуг, що надаються, з боку корпоративних, приватних абонентів, а також інвесторів, потребують сфокусувати зусилля національних операторів на розв'язанні проблеми якості. Впровадження технологій 3G приводять до появи цілого спектру "неголосових" послуг і, в той самий час, надає широкі можливості керування якістю обслуговування абонентів. Разом з тим поява нових послуг приводить до розширення набору параметрів та показників їх якості, які мають свої особливості.

На сьогодні в Україні існує нормативний документ, що регламентує основні показники та їх межі. Цим документом є "Керівний нормативний документ галузі зв'язку України КНД 45-067-97 "Нормативи показників якості обслуговування викликів і якості встановлених з'єднань у телефонній мережі загального користування України"". Цей документ встановлює граничні нормативи показників якості будь-яких телефонних з'єднань абонентів і національних ділянок міжнародних з'єднань у ТфЗК України. Основними показниками є такі:

- показники якості обслуговування з'єднань;
- показники якості встановлених з'єднань, утворених з використанням кабельних засобів зв'язку;
- показники якості встановлених телефонних з'єднань, утворених з використанням радіозасобів.

До першої групи відносяться:

- коефіцієнт успішних спроб встановлення з'єднань, який визначається як відношення кількості спроб встановлення з'єднань з сигналом-відповіддю до загальної кількості з'єднань

$$K_{усп.з.} = \frac{N_B}{N} \cdot 100\%,$$

де N_B – кількість спроб встановлення з'єднань з сигналом-відповіддю; N – загальна кількість спроб встановлення з'єднань;

- коефіцієнт втрат викликів, розрахований за п'ять найбільш завантажених діб, менше чи дорівнює 7 % за середню годину найбільшого навантаження для середнього трафіка, визначається як відношення кількості викликів, які не завершилися сигналом-відповіддю до загальної кількості викликів

$$K_{ВТР.ВИК.} = \frac{n_{в.з.}}{n} \cdot 100\% ,$$

де $n_{в.з.}$ – кількість викликів, які не завершилися сигналом-відповіддю; n – загальна кількість викликів (спроб встановлення з'єднань); під середньою годиною найбільшого навантаження розуміється година, протягом якої навантаження дорівнювало середньому значенню за час спостережень;

- час очікування з'єднань у межах мережі України не повинен перевищувати: 20 сек. при використанні існуючих старих систем міжстанційної сигналізації; 5 сек. при використанні міжстанційної спільноканальної сигналізації №7; 10 сек. при використанні у телефонній мережі міжстанційної сигналізації R2D. Час очікування з'єднань визначається як різниця між часом початку прийому сигналів "Контроль посилки виклику" чи "Зайнято" ($T_{КПВ}$) і часом закінчення набору номера абонентом ($T_{з.н.}$)

$$T_{ОЧК.З.} = T_{КПВ} - T_{з.н.} .$$

До другої групи (показники якості встановлених з'єднань, утворених з використанням кабельних засобів зв'язку) відносяться:

- імовірність передчасного роз'єднання, для 90 % з'єднань у межах мережі України, не повинна перевищувати $4 \cdot 10^{-4}$;
- імовірність короткочасного переривання розмовного тракту не повинна перевищувати $3 \cdot 10^{-4}$ для передачі мовної інформації та $1 \cdot 10^{-4}$ для передачі цифрової інформації;
- нерівномірність групової затримки не повинна перевищувати 15 мс на частоті 300 Гц і 7,5 мс на частоті 3400 Гц відносно значення середньої групової затримки на частоті 1020 Гц;
- стандартне відхилення змін залишкового послаблення не повинно перевищувати 1дБ, а різниця між середньою і но-

мінальною величиною залишкового послаблення не повинна перевищувати 0,5 дБ;

- нормовані показники заводозахисності, гучності та спотворення сигналів в лінях зв'язку.

До третьої групи показників відносяться:

- коефіцієнт блокування фрагментів сигналу;
- якість мови (визначається відповідно до рекомендації Р 45-006);
- середня сумарна годинна потужність загального шуму;
- максимальні значення показників гучності передавальної і приймальної частин з'єднання;
- імовірність передчасного роз'єднання.

1.2. Оцінка якості обслуговування в системах рухомого зв'язку

При плануванні телетрафіка в межах зони обслуговування виконується попередня оцінка якості обслуговування абонентів. Під якість в цьому випадку розуміється своєчасне надання каналів абонентам при забезпеченні достовірності прийому інформації не нижче, ніж задана.

Мобільні системи зв'язку відносяться до систем масового обслуговування [5, 9, 10, 17-19], оскільки вони являють собою сукупність великої кількості рівноправних елементів. Процеси, що протікають в системах, також являють собою масу однорідних випадкових явищ та їх закономірності визначаються не характеристиками окремих елементів, а масовим характером явищ в системі.

Основними параметрами оцінки якості обслуговування мобільної системи зв'язку як системи масового обслуговування є параметри вхідного потоку викликів [19, 27, 28, 40, 52, 53, 70]. Оскільки моменти надходження викликів визначаються періодичністю надходження інформації, яка є випадковою величиною, то весь процес надходження викликів вважається випадковим процесом. Випадковими величинами ξ такого потоку є кількість викликів, що надходять в одиницю часу (інтенсивність викликів) λ , час обслуговування одного виклику t .

Закон розподілення викликів як випадковий процес описується функцією розподілення випадкової величини. Функцією розподілення ймовірностей випадкової величини ξ потоку викликів є ймовірність того, що ця величина прийме значення менше, ніж X

$$F\xi(X) = P(\xi < x).$$

Щільністю розподілення W безперервної випадкової величини ξ є функція f_ξ , для якої для всіх значень X виконується умова

$$W_\xi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_\xi(z) dz.$$

Параметри вхідного потоку викликів можуть мати як безперервний, так і дискретний характер розподілення. Характер розподілення потоку викликів буде дискретним, якщо випадковою величиною ξ є кількість викликів. Характер розподілення потоку буде безперервним, якщо величиною ξ є час обслуговування викликів $T + t$.

Якщо випадковий процес є дискретним, то він характеризується властивостями стаціонарності, післядії та ординарності. Стаціонарність випадкового процесу означає, що для будь-якої групи з числа різних відрізків часу імовірність надходження певної кількості заявок z викликів протягом часу $T + t$ кожного з відрізків залежить лише від z та $T + t$, але не змінюється від зсуву всіх часових відрізків на одну й ту ж саму величину Δt . Відсутність післядії означає, що ймовірність надходження z викликів протягом відрізка часу $T + t$ не залежить від того, скільки разів і як надходили виклики перед тим (взаємну незалежність кількості викликів в різні проміжки часу). Ординарність дискретного процесу є умовою того, що ймовірність надходження двох або декількох викликів за дуже малий інтервал часу нескінченно мала величина. Таким чином, якщо вхідний дискретний потік викликів в мобільній системі зв'язку має властивості стаціонарності, відсутність післядії та ординарності, то він є найпростішим або Пуасонівським. Для такого потоку ймовірність надходження z викликів за час t визначається

$$P(z) = \frac{(\lambda t)^z}{z!} \cdot e^{-\lambda t},$$

де λ – інтенсивність потоку викликів (математичне сподівання кількості викликів z за одиницю часу t)

Для пуасонівського потоку викликів виконується умова рівності математичного сподівання m та дисперсії σ процесу ($m = \sigma$). Ймовірність надходження z викликів $P(z)$ протягом проміжку часу t досягає найбільшого значення при $t = \frac{\lambda}{z}$ ($z = 0, 1, 2, \dots$). Вона може розглядатись як ймовірність одночасного зайняття z комутаційних комірок, через які проходять виклики з інтенсивністю λ та середньою

тривалістю обслуговування t кожного виклику. Вираз для $P(z)$ визначає ймовірність надходження z викликів за час t , що дорівнює середньому часу обслуговування одного виклику t_{cp} . Для визначення ймовірності $P(z)$ найпростішого протоку необхідно лише знати один параметр – λ . Найпростіший потік викликів та його залежності справедливі лише для однофазних систем обслуговування. Прикладом однофазної системи обслуговування може бути система з централізованим диспетчеруванням, в якій контрольно-кінцева (базова) станція обслуговується одним оператором. Оператор виконує прийом даних за викликом з телефонної мережі та їх введення в блок пам'яті для подальшого передавання по каналу зв'язку.

В багатофазових приладах один прилад обслуговується декількома обслуговуючими приладами. Виклики, що надходять на обслуговуючий пристрій, можуть обслуговуватись в порядку черги, у випадковому порядку, а також з перевагою в обслуговуванні (виставляються пріоритети).

В багатофазових системах обслуговування спостерігаються ординарні потоки викликів з обмеженою післядією. В таких системах параметр $\lambda \neq m$. Інтенсивність потоку з обмеженою післядією λ_{on} визначається як [92]:

$$\lambda_{on} = \frac{P(t)}{\int_0^t \phi_0(x) dx},$$

де $\phi_0(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \left(\frac{P(\tau, t)}{P(\tau)} \right)$ – функція Пальма, яка визначає межу ймовірності відсутності викликів за час t за умови, що за проміжок часу τ надійде хоча б один виклик; τ – проміжок часу перед часом t .

Під часом обслуговування будемо розуміти параметр системи масового обслуговування, що визначає безперервну випадкову величину випадкового потоку, яка є часом обслуговування t виклику, що надійшов. Час обслуговування описується показниковим законом розподілу, що визначає ймовірність того, що тривалість виклику не перевищує заданий час t .

$$P(t) = e^{-t_{cp}\lambda},$$

де t_{cp} – середній час обслуговування виклику.

Оцінку якості системи зручно проводити не за кількістю обслуговуваних викликів, а за кількістю відмов як

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-t_{cp}\lambda}.$$

Щільність показникового розподілу є функцією, що являє собою ймовірність того, що випадкова величина проміжку часу між двома сусідніми викликами не перевищить час t

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Розрахункові формули для оцінки якості системи зв'язку, що характеризується пуасонівським потоком викликів та показниковим законом розподілу часу обслуговування, є функціями Ерланга [92]. Функція Ерланга В оцінює якість системи з відмовами, а функція Ерланга С – якість системи з очікуванням.

В загальному випадку функція Ерланга має вигляд

$$F(N) = \frac{(\lambda N)^N}{N!} \cdot P_0,$$

де $F(N)$ – ймовірність того, що всі N комутаційні комірки зайняті (імовірність відмови обладнання); P_0 – ймовірність того, що всі N комутаційні комірки вільні.

Для системи з відмовами параметр P_0 визначається р виразу

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}},$$

$$A = \frac{\lambda}{\mu}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Формула Ерланга В в цьому випадку матиме вигляд

$$B(N) = \frac{\frac{(\lambda \cdot t)^N}{N!}}{\sum_{k=1}^z \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!}}.$$

Ця формула показує, що відмови будуть з'являтися, якщо кількість викликів z , що одночасно надходять, буде більшою, ніж кількість комутаційних комірок (каналів) N .

Для системи з очікуванням P_0 визначається як

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} + \frac{(\lambda \cdot t)^N}{N! \left(1 - \frac{\lambda \cdot t}{N}\right)}}.$$

Формула Ерланга при цьому матиме вигляд

$$C(N) = \frac{\frac{(\lambda \cdot t)^z}{z!}}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} + \frac{(\lambda \cdot t)^N}{N! \left(1 - \frac{\lambda \cdot t}{N}\right)}}.$$

Цей вираз визначає ймовірність затримки обладнання виклику при постановці абонентів в чергу. Використання апарату теорії масового обслуговування стосовно до оцінки якості обслуговування мобільної системи зв'язку дозволяє визначити її окремі часткові показники якості, такі як:

- прогнозований трафік повідомлень;
- необхідна кількість каналів;
- ймовірність відмов в обслуговуванні.

1.3. Математичні моделі якості цифрових телекомунікаційних мереж

Для передавання інформації в сучасних мережах застосовуються різні системи сигналізації з різними "несучими" протоколами.

Основним завданням кожного з типів сигналізації є забезпечувати необхідний рівень якості функціонування, основними складовими якого є [42]:

- показники здатності мережі доставляти інформацію;
- показники надійності функціонування мережі передавання даних;
- часові показники доставляння інформації;
- показники рівня помилок у доставленій інформації;

- показники ефективності використання мережі;
- показники вартості доставляння інформації.

Цей список не є вичерпним, а лише відображає основні показники якості мереж передавання даних.

На технічному семінарі "Керування якістю представлення послуг в мережах 3G в умовах гармонізації з міжнародними стандартами" були обговорені питання щодо існуючих механізмів оцінювання та методів вимірювання параметрів якості.

Були висвітлені питання щодо основних показників якості для різних послуг та мереж передавання даних.

Для того, щоб користувач отримав якісні послуги – мовні, SMS-, MMS-сервіси та інші, необхідно, щоб проходження сигналу по всій мережі відповідало конкретним вимогам. Найважливішими є такі показники, як час встановлення з'єднання, час доставляння повідомлення, кількість виконаних з'єднань, максимальна швидкість передавання даних тощо. Ще одним вагомим показником є структура мережі, що постійно змінюється та вдосконалюється. Тому необхідно визначати параметри якості як з точки зору системно-мережевих аспектів, так і з точки зору користувача.

Для мобільних мереж передавання даних при зростанні кількості користувачів зменшується якість послуг. Вкрай важливим є параметр сигнал/шум на вході мобільного термінала.

Розглянемо службу обміну даними мережі UMTS. Найбільш вразливим місцем, з точки зору якості функціонування, є "радіочастина" мережі UMTS – мережа UTRAN (через обмеженість свого ресурсу). На якість послуг, що надаються, в мережі UMTS впливають такі характеристики, як потужність випромінювання, завантаження мережі тощо. Для якісної роботи мережі необхідно визначити параметри радіоресурсу, наприклад запас завадозахищеності або реакцію на швидкі завмирання.

В мережах стандарту IMT-TC-450 (CDMA-2000) важливими є такі показники, як максимальна та середня швидкості передавання даних, час затримки або доставки інформації, процентне відношення втрачених або спотворених пакетів, похибки в каналі передавання або перевантаження мережі.

На сьогоднішній день вже розроблені як основні показники якості обслуговування викликів і якості встановлення телефонних з'єднань, так і нормативи цих показників (керівний нормативний документ галузі зв'язку України КНД 45-067-97). Аналізуючи цей документ та все вищенаведене, можна зробити висновок, що визначення

Ймовірісно-часових характеристик мережі є одним з найважливіших аспектів в оцінюванні якості функціонування та якості обслуговування абонентів в телекомунікаційних мережах.

Виходячи з цього, розглянемо відповідні математичні моделі параметрів телекомунікаційних мереж. Необхідною умовою якісної роботи мережі зв'язку є забезпечення ефективного та надійного управління нею. Для передавання інформації управління в сучасних мережах застосовуються різноманітні системи сигналізації. Для забезпечення заданого рівня якості мережі використовуються основні показники, які характеризують якість роботи мережі, та фактори, що впливають на ці показники.

1.3.1. Математична модель якості телекомунікаційної мережі

Якість обслуговування мережі телекомунікацій може бути представлена з позицій SLA, сформованої на основі вимог QoS користувача послуги, і пропозицій постачальника послуги [27-31], а також: очікуваної QoS і запропонованої QoS, що відображають якість послуги, яка визначається, відповідно, користувачем і постачальником до укладання угоди; отриманої QoS і сприйманої QoS, що відбивають якість реальної послуги з боку постачальника і користувача, відповідно; узгодженої QoS, що відбиває підтверджену сторонами в SLA відповідність отриманої і сприйманої QoS.

При такому підході, спочатку (до укладання SLA), крім наявних у вигляді запропонованої QoS можливостей постачальника послуги, а також вимог у вигляді очікуваної QoS користувача й отриманої в результаті SLA узгодженої QoS, вводяться сприймане користувачем і надане постачальником послуги значення QoS. Це дозволяє розмежувати ап'рїорі, що розуміються користувачем і постачальником QoS, врахувати етап узгодження QoS і встановити взаємозв'язок між запропонованими до QoS вимогами і властивостями об'єкта, що визначають показники QoS, що підлягають контролю і використовуються для керування об'єктом. Модель QoS, що враховує зв'язок користувача з оператором через постачальника послуги і фактично відображає залежність очікуваної і сприйманої користувачем QoS від показників і параметрів QoS мережі оператора, виражених запропованою (погодженою) і отриманою QoS постачальника послуги, представлена на рис. 1.1 [27].

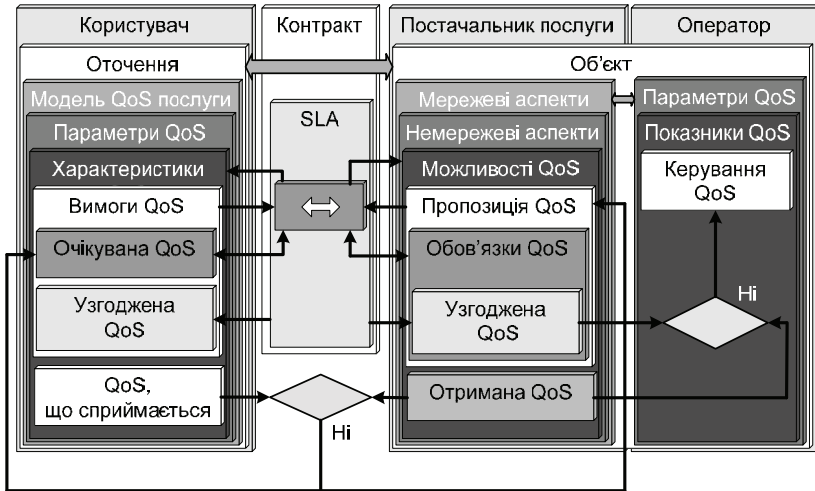


Рис. 1.1. Модель QoS

Нехай оточення, в особі користувача послуги, і об'єкт, в особі постачальника послуги й оператора мережі, планують укласти контракт на надання визначених послуг, що формулюються користувачем на базі деякої абстрактної моделі послуги, а постачальником послуги – як можливість надання послуги з QoS, що визначена шляхом розрахунків отриманих результатів контролю.

Провівши узгодження параметрів характеристик моделі послуги, виражених у вимогах QoS користувача з параметрами показників QoS постачальника послуги, вираженими в пропозиціях QoS, встановлюється відповідність сформульованих вимог і скоректованої пропозиції. У результаті досягнутої відповідності розробляється SLA, на основі якого користувач розуміє досягнуті угоди як одержання послуг з деякою очікуваною QoS, а постачальник послуги дотримується досягнутої в результаті угоди QoS, приймаючи його як зобов'язання з надання погодженої послуги. Для підготовки контракту на надання такої послуги проводиться або її демонстрація користувачу для того, щоб остаточно упевнитися у відповідності пропозиції постачальника вимогам користувача з наступним прийняттям погодженої QoS, або здійснюється додаткове коректування вимог та/або можливостей, у результаті якого також встановлюється погоджена QoS. При встановленні погодженої QoS укладається відповідний контракт на постачання обговореної в SLA послуги, інакше такий контракт не може бути укладений [27].

В процесі надання послуги ця модель дозволяє встановити відповідність сприйманої користувачем QoS отриманій оператором зв'язку QoS, а саме:

$$\text{Сприймана (A)} \Leftrightarrow \text{Отримана (A)},$$

при цьому вона розділяє показники, що мають відношення до послуги зв'язку (немережеві аспекти) і показники, обумовлені особливостями мережі (мережеві аспекти), пов'язані, наприклад, з продуктивністю мережі. У результаті з позицій контролю відповідності характеристики QoS реальної відкритої розподіленої системи можуть бути визначені:

- шляхом абстрактного тестування на окремому чи на сусідніх рівнях моделі системи процесу виконання одного чи більше зв'язаних протоколів, з наступним встановленням кількісного показника результату тестування;
- шляхом абстрактного тестування на одному з рівнів моделі системи інформаційного процесу з наступним встановленням відповідних часткових, узагальнених та інтегральних кількісних показників.

Це дозволяє виявити зв'язок між характеристикою QoS, яка виражена, наприклад, деяким числом C , і показником, що визначає мережну продуктивність, виражену функціоналом $F[f(x)]$, у вигляді відповідності:

$$F[f(x)] \Leftrightarrow C.$$

Тут $F[f(x)]$ дорівнює деякому числу, що залежить від кожної функції $f(x)$ з множини $\{f(x)\}$ параметрів, що визначають продуктивність об'єкта, що реалізує послугу.

Очевидно, що ці відповідності є визначальними при керуванні мережею з позицій QoS. Так, у випадку відмінності через неадекватну модель користувача очікуваної QoS від погодженої QoS чи, що те ж саме, недорозуміння користувачем узгодженої QoS, відповідно до даної моделі здійснюється коректування параметрів QoS користувача, що приводить до зміни вимог, а потім очікуваної QoS, SLA і контракту. Інформація про невідповідність очікуваної і погодженої QoS, тут установлюється через параметри характеристик вимог QoS у процесі надання послуги за сприйманою QoS [27, 28].

У випадку невідповідності сприйманої й отриманої QoS з вини постачальника послуги виробляється коректування запропонованої

QoS і потім узгодженої QoS. Зміна останнього приведе до активізації керування на стороні оператора, з відповідною зміною параметрів, показників мережевих і немережевих аспектів і, як наслідок, до встановлення знову отриманої QoS. Ця QoS, природно, буде або дорівнювати QoS, що погоджена, або така рівність не буде забезпечена через обмежені можливості мережі оператора, що приведе, відповідно, до зміни пропозиції з адекватними наслідками, або до розриву контракту.

Таким чином, дана модель дозволяє розглянути питання QoS на всіх стадіях його забезпечення, починаючи від розробки об'єкта, що надає послугу, власне послуги і встановлення угод до керування різними мережними аспектами з метою досягнення необхідної якості послуг, що нерозривно зв'язано з політикою керування QoS [27, 28].

Аналізуючи все вищенаведене, можна зробити висновок, що зазвичай рівень якості послуг, що надаються кінцевому користувачу, характеризується категоріями "якісно" – "неякісно", вибір між якими здійснюється шляхом співставлення часткових отриманих параметрів (характеристик) якості з встановленим рівнем параметра (характеристики) якості. Але це не дає можливості комплексно оцінити рівень надання послуг та функціонування телекомунікаційної мережі.

1.4. Методи оцінки основних параметрів функціонування мереж зв'язку

1.4.1. Метод аналізу розподілу ймовірностей станів телекомунікаційного обладнання

Наведемо приклад розрахунку телекомунікаційної мережі для випадку кінцевої кількості абонентських станцій [64]. Як об'єкт розглядається мережа зв'язку, яка складається з кінцевого числа малих абонентських станцій, центральної станції та обслуговуючого пристрою. Обслуговуючий пристрій, приймаючи повідомлення від периферійної станції передає його на центральну. Оскільки канал зв'язку спільно використовують усі станції, то можливий збіг часу ретрансляції повідомлень, при цьому повідомлення спотворюються (попадають в конфлікт) та потребують повторного передавання. Архітектура подібних мереж дозволяє реалізувати протоколи випадкового множинного доступу зі сповіщенням про конфлікт, в яких для того, щоб уникнути спотворення інших повідомлень, центральною станцією розсилається сигнал сповіщення про конфлікт. Повідомлення, що попали в конфліктну ситуацію, повинні бути передані абонентським станціям повторно після випадкової затримки для уникнення повторних конфліктів.

Математичною моделлю мережі зв'язку, що розглядається, може бути однолінійна система масового обслуговування, на вхід якої надходить примітивний потік вимог з параметром $\frac{\lambda}{N}(N - i - \nu)$, де N – кількість периферійних абонентських станцій; i – кількість тих абонентських станцій, які або передають свої повідомлення, або здійснюють їх випадкову затримку для повторного передавання; $\nu = 0$ якщо обслуговуючий канал вільний; $\nu = 1$ якщо обслуговуючий канал здійснює успішне передавання.

Кожна вимога в момент надходження в систему стає в обслуговуючий прилад та починає обслуговуватись. Відправивши заявку на обслуговування, абонентська станція не генерує інших заявок доти, доки відправлена заявка не буде обслужена успішно. Обслуговування має експоненціальний закон розподілу з параметром μ . Якщо за час обслуговування будь-якої вимоги інші заявки не надходили в систему, то вихідна вимога вважається такою, що успішно обслужена, та покидає систему. В протилежному випадку, тобто коли одночасно обслуговувались дві або більше вимоги, виникає конфлікт. Тривалість етапу сповіщення про конфлікт розподілена за експоненційним законом з параметром μ_1 . Заявки, що потрапили в конфлікт, переходять в джерело повторних викликів, звідки намагаються стати на обслуговування знову через експоненційно розподілену затримку (з параметром $\frac{\sigma}{i}$). Структура такої системи масового обслуговування має вигляд, показаний на рис. 1.2.

Стан мережі, що досліджується, можна описати двовимірною випадковою величиною (i, k) , зміна в часі якої створює двовимірний процес $\{i(t), k(t)\}$. Випадкова величина $k(t)$ описує стан обслуговуючого каналу в момент часу t та може приймати три значення

$$k = \begin{cases} 0, \\ 1, \\ 2, \end{cases}$$

де стан 0 – коли обслуговуючий пристрій вільний; стан 1 – коли обслуговуючий пристрій зайнятий обслуговуванням заявки; стан 2 – коли реалізується етап сповіщення про конфлікт; величина $i(t)$ відображає кількість заявок в джерелі повторних викликів в момент часу t .

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-326-3>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-326-3>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-326-3>

Наукове видання

**Кветний Роман Наумович
Лисогор Володимир Григорович
Посвятенко Всеволод Петрович
Скидан Юрій Анатолійович**

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА
ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ
В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

Монографія

Редактор С. Малішевська
Оригінал-макет підготовлено В. Посвятенком

Підписано до друку 9.10.2009 р.
Формат 29,7×42 ¼ . Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,62.
Наклад 100 прим. Зам № 2009-174.

Вінницький національний технічний університет,
комп'ютерний інформаційно-видавничий центр.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0 432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0 432) 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.